

ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ НЕГАТРОНИКИ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Э.Н.ЗАМАНОВА

*Институт Физики НАН Азербайджана
AZI 142, г.Баку, ул. Г.Джавида 33*

В статье приводится обзор работ, заложивших основу развития негатроники в Азербайджане. Это только малая доля работ, выполненных в свое время непосредственно под руководством и по инициативе академика Г.Б.Абдуллаева.

Исследование различных физических эффектов в полупроводниковых структурах для получения элементов с отрицательным сопротивлением-негатронов обеспечивает прямое преобразование различных видов энергии внутри кристалла и определение режимов сверхчувствительности к различным энергетическим воздействиям, что делает негатроны перспективными элементами первичных преобразователей.

Начало развития одного из направлений функциональной микроэлектроники – твердотельной негатроники относится к открытию в стеклообразных халькогенидных полупроводниках эффекта отрицательного сопротивления (ОС) и переключения [1-5].

Исследования, проводимые на протяжении ряда лет в Ордена Трудового Красного Знамени Институте физики АН Азерб.ССР под руководством академика Г.Б.Абдуллаева [6-8] показали, что халькогениды меди являются в этом плане перспективными материалами. Возможность варьирования концентрацией и подвижностью носителей тока, шириной запрещенной зоны, температурой плавления в этих соединениях создает благоприятные условия для разработки приборов с различными функциональными возможностями.

Ранее исследовались переключающие приборы на основе бинарных соединений халькогенидов меди (Cu_2S , Cu_2Se , Cu_2Te), тогда как малейшие нарушения в стехиометрии сильно влияют на электрофизические свойства этих соединений и создают возможность для разработки различных приборов, для выяснения истинных функциональных возможностей которых необходимо исследовать физические процессы, приводящие к их созданию.

Высокая концентрация носителей тока в этих кристаллах связана с наличием собственных дефектов решетки, они являются «самолегирующимися» и не требуют дополнительного легирования. Получение и исследование свойств собственно-дефектных кристаллов, несомненно, представляет интерес как с научной точки зрения, так и для расширения области применения этих материалов в технике.

Проведена комплексная разработка различных технологических способов получения пленок, монокристаллов $Cu_{2-x}S$, $Cu_{2-x}Se$, $Cu_{2-x}Te$ ($0 \leq X \leq 1$) и CdS (p, n - типа) с применением химической и электрохимической методики, а также термосинтеза и вакуумного осаждения, контролируемых структурным анализом.

Показана возможность получения направленной кристаллизацией из раствора (методом Бриджмена-Стокбаргера) монокристаллов Cu_2S , а медленным охлаждением из расплава получены монокристаллы CuS , $CuSe$ и крупноблочные монокристаллы Cu_2S .

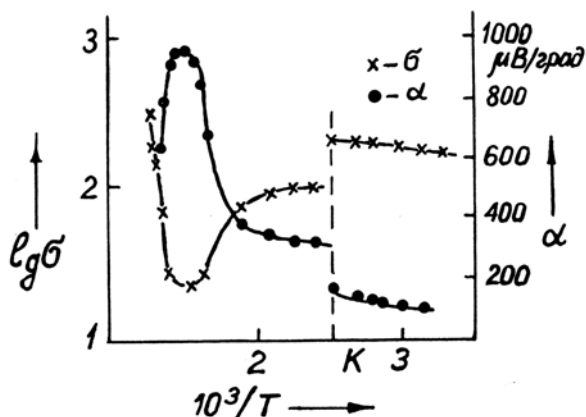
Известно, что физические методы, используемые для оценки концентрации дефектов, в той или иной степени, зависят от постулированной модели. Но до сих пор нет физической модели, которая могла бы объяснить экспериментальные факты по соединениям $A_2^I B^{VI}$. Для установления природы дефектов необходимо

было иметь как можно больше различных экспериментальных данных. Отсутствие низкотемпературных исследований еще больше усложняло интерпретацию свойств этих веществ.

Совместное измерение электропроводности σ и постоянной Холла R_0 при низких температурах, где интенсивность тепловых колебаний решетки уменьшается и в рассеянии носителей тока не участвует, дало возможность, определить вид дефектов решетки.

С целью исследования механизма проводимости и рассеяния носителей тока, установления вида дефектов решетки, структуры зон, влияния отклонения состава от стехиометрии и режима получения на исследованные параметры и на фазовые переходы, получены монокристаллы халькогенидов меди и исследованы их электрические свойства, а именно, электропроводность, термоэдс и постоянная Холла в широком интервале температур, начиная от 2^0K и выше, включающих температуры фазовых переходов.

В температурной зависимости электропроводности (Рис.1) как для массивных, так и тонкопленочных образцов Cu_{2-x}S ($300+650\text{K}$) содержатся два пика, соответствующих низкотемпературному ($\alpha \rightarrow \beta$) и высокотемпературному ($\beta \rightarrow \gamma$) фазовым переходам соединения Cu_2S . После низкотемпературного фазового перехода электропроводность образца состава Cu_2S уменьшается почти на два



порядка. С переходом к образцам с более высоким значением x -а уменьшение электропроводности становится более слабым. С ростом температуры электропроводность β - Cu_2S снова растет, а в области высокотемпературной фазы падает.

Рис.1.

Температурная зависимость электропроводности и термоэдс Cu_2S .

Установлено, что при синтезе образцов в едином режиме, одновременно с отклонением от стехиометрии Cu_{2-x}S ($\text{Cu}_{1,95}\text{S}$, $\text{Cu}_{1,90}\text{S}$, $\text{Cu}_{1,85}\text{S}$, $\text{Cu}_{1,80}\text{S}$, Cu_2S), где $0 \leq X \leq 0,2$, образцы с большим отклонением состава от стехиометрии ($\text{Cu}_{1,85}\text{S}$ и $\text{Cu}_{1,80}\text{S}$) оказываются монокристаллами. Дальнейшая рекристаллизация этих кристаллов путем отжига в течение 20 суток при температуре 500^0C , приводит к образованию кристаллов с резко выраженными гранями ($5 \times 6 \text{мм}^2$) в форме октаэдров. Это связано с тем, что с отклонением состава от стехиометрии решетка совершенствуется, стехиометрический состав содержит больше дефектов, чем нестехиометрический. Такое положение характерно для всех кристаллов, в решетке которых содержатся разновалентные атомы одного и того же элемента, причем, данный элемент проявляет себя, в основном, в состоянии с низкой валентностью.

С отклонением от стехиометрии температура плавления исследованных образцов понижается, т.е. состав, обладающий максимальной температурой плавления совпадает со стехиометрическим, сдвиг температуры плавления в халькогенидах меди можно связать со свободной энергией образования катионных вакансий.

Показано, что энергия активации проводимости, найденная из температурной зависимости электропроводности Cu_{2-x}S ($0 \leq X \leq 0,2$) с отклонением состава от стехиометрии уменьшается и равна $0,025$; $0,020$ и $0,018$ эв,

соответственно для Cu_2S , $Cu_{1,95}S$, $Cu_{1,90}S$. С приближением к стехиометрическому составу перемещение атомов меди к междуузлиям затрудняется, с отклонением состава от стехиометрии (с увеличением x) степень вырождения увеличивается, а образцы составов $Cu_{1,85}S$ и $Cu_{1,80}S$ становятся вырожденными.

Установлено, что в интервале температур от комнатной до 20К постоянная Холла растет, при понижении температуры до 4,2К остается постоянной; соответственно, концентрация дырок уменьшается, затем остается постоянной, что говорит о полупроводниковом характере проводимости Cu_2S при низких температурах до 20К и металлическом характере проводимости в интервале (4,2÷20)К. При низких температурах вакансии меди находятся на достаточно близком расстоянии друг от друга, т.е. волновые функции этих вакансий перекрываются и создается узкая примесная зона, сливающаяся с валентной. С ростом температуры (Рис.2) часть атомов меди начинает удаляться от своих узлов,

в результате чего увеличивается число вакансий в узлах меди – дырок. Энергия активации этого явления, найденная из зависимости концентрация дырок от обратной температуры равна 0,1эВ. Это удаление атомов меди от своих узлов, так называемые тепловые дефекты является обратимым.

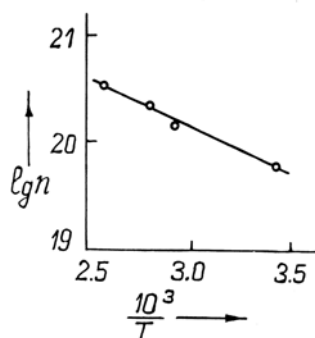


Рис.2.

Изменение концентрации дырок с температурой для кристаллов Cu_2S .

Изменение концентрации носителей тока в интервале 20÷300К в Cu_2S говорит об изменении числа дефектов, о тепловом характере этих дефектов, о том, что они не находятся в термодинамически равновесном состоянии, а постоянство концентрации носителей тока ниже 20К связано с тем, что в Cu_2S содержатся еще и дефекты биографического происхождения, число которых определяется постоянным значением концентрации носителей тока ниже 20К. Очевидно, что ниже 20К число тепловых дефектов становится меньше, чем биографических.

В Cu_2S с изменением температуры уровень Ферми резко меняет свое положение, при низких температурах он находится в валентной зоне, а при высоких температурах, в запрещенной зоне, вблизи акцепторных уровней, так что в проводимости преобладающую роль играют акцепторные уровни ($\Delta E \approx 0,06 \div 0,1 \text{ эВ}$).

Зависимость термо-э.д.с. от температуры качественно может быть объяснена с точки зрения двухзонной модели следующим образом: при низких температурах основную роль в процессах проводимости играет первая подзона с меньшей эффективной массой плотности состояний (с меньшей m^*), с ростом температуры, за счет перераспределения концентрации дырок в первой и второй подзонах, доля участия второй подзоны в процессах проводимости увеличивается за счет вклада «тяжелых дырок». В отличие от Cu_2Se и Cu_2S после 100К из-за роста рассеяния «тяжелых дырок» на тепловых колебаниях решетки их подвижность уменьшается, что приводит к уменьшению термо-э.д.с. выше этой температуры.

При низких температурах (ниже 170К) приведенный химический потенциал μ^* в Cu_2S положительный и доходит до 4 при 10К, что соответствует вырождению образца. С увеличением температуры до комнатной μ^* имеет отрицательное значение, вблизи комнатной и выше меняет знак на положительный,

а после фазового перехода $\sim 120^{\circ}\text{C}$ вновь становится отрицательным. При низких температурах кристалл ведет себя как металл, а с повышением температуры – как полупроводник.

Подвижность в Cu_2S до 20К остается постоянной ($12 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{сек}$), а начиная с 20К растет, около 100К проходит через максимум, при комнатной температуре равна $15 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{сек}$. В отличие от других соединений халькогенидов меди (Cu_2Se) Cu_2S является невырожденным ($\mu^* < 0$) и вырождение наступает только ниже 20К. В области $4,2 \div 10\text{К}$ рассеяние вырожденных носителей тока происходит на нейтральных и на ионизированных дефектах решетки. Повышение температуры выше 20К сказывается на увеличении энергии носителей тока и тем самым концентрация носителей тока, т.е. вырождение снимается и в рассеянии носителей тока преобладают ионизированные дефекты. В результате этого рассеяние носителей тока с ростом температуры уменьшается, что и приводит к росту подвижности в области $20 \div 100\text{К}$ по закону $U \sim T^{-2/3}$, только выше 100К интенсивность тепловых колебаний решетки настолько усиливается, что рассеяние происходит, в основном, на колебаниях атомов решетки и подвижность начинает уменьшаться (Рис.3).

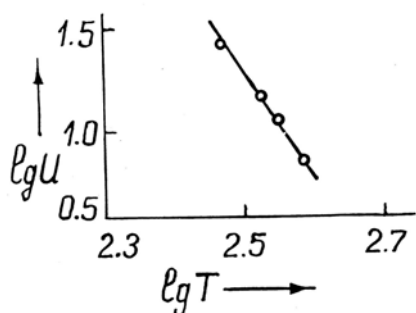


Рис.3.

Изменение подвижности дырок с температурой для кристаллов Cu_2S .

При изучении зависимости постоянной Холла и концентрации дырок от состава Cu_{2-x}S при низких температурах установлено, что концентрация дырок увеличивается при малых отклонениях состава от стехиометрии слабо, а потом сильнее, вначале отклонение от стехиометрии происходит за счет удаления междуузельных, а затем узловых атомов меди, поэтому число вакансий в подрешетке меди сильно растет.

Температуры, соответствующие фазовым переходам, очень чувствительны к отклонению от стехиометрии, с увеличением x уменьшаются температуры фазовых переходов.

Установлено, что с отклонением состава от стехиометрии дырочный газ в α -модификации Cu_2S переходит в вырожденное состояние, в β - Cu_2S дырочный газ вырожден для всех составов.

Для образцов сульфида и селенида двухвалентной меди (CuS , CuSe) установлено, что изменение электропроводности с температурой соответствует металлическому характеру проводимости. По ходу температурной зависимости концентрации можно заключить, что CuS и CuSe являются вырожденными полупроводниками. Изменение подвижности дырок с температурой происходит по закону $U \sim T^{-2/3}$, что свидетельствует о рассеянии дырок на акустических колебаниях решетки, об электронном механизме проводимости и преобладании ковалентной связи.

Установлено, что все экспериментальные температурные зависимости параметров (σ , α , R_0) Cu_2Se при температурах 120К и 720К претерпевают явную аномалию, что связано с фазовыми переходами в этом соединении. Электропроводность σ монокристалла Cu_2Se с ростом температуры (выше 10К) уменьшается, около 100К проходит через минимум и выше 180К снова уменьшается. Коэффициент термо-э.д.с. Cu_2Se в температурном интервале

(10÷300)К с повышением температуры растет, около 120К изменяется наклон подъема термо-э.д.с. Рассеяние носителей тока в Cu_2Se до 10К происходит на ионизированных дефектах, а выше – на тепловых колебаниях решетки.

Металлический характер проводимости соединения Cu_2Se связан со структурными дефектами решетки, которые образуют примесную зону, сливающуюся с валентной зоной. Постоянство концентрации носителей тока с температурой в Cu_2Se говорит о том, что число дефектов в этом соединении с изменением температуры не изменяется, что указывает на наличие не тепловых, а биографических дефектов или на наличие состояния термодинамического равновесия, т.е. сколько атомов удаляется из своих узлов, столько же атомов Cu переходит в узел подрешетки металла.

В селениде двухвалентной меди ($CuSe$), полученном термическим способом, высокое значение электропроводности и уменьшение ее с повышением температуры (2÷600)К указывает на металлический характер проводимости. Концентрация носителей тока в p - $CuSe$ во всем температурном интервале исследований почти не зависит от температуры, что свидетельствует о вырожденности полупроводника. Показатель степени температурной зависимости подвижности указывает на то, что рассеяние носителей тока происходит на акустических колебаниях решетки.

При переходе от Cu_2S к Cu_2Se растет значение σ и p , что связано с ростом дефектности кристаллической решетки, поскольку число носителей тока в этих соединениях определяется числом пустых узлов меди.

Ширина запрещенной $Cu_2S > Cu_2Se > Cu_2Te$, т.к. она зависит от атомного номера элементов VI группы. Такое уменьшение ширины запрещенной зоны при переходе от сульфидов к селенидам и теллуридам связано с уменьшением ионности связи и эффективной массы, ростом подвижности носителей тока, увеличением доли ковалентности.

Несмотря на то, что эффекты ОС и переключения исследовались нами раньше, чем в работах [2,3], авторские свидетельства на изобретения были получены позже [6-27]. Трудно охватить весь обширный исследовательский материал, посвященный сотрудниками института физики халькогенидным полупроводникам, в которых обнаружены эффекты ОС и переключения, но он представлен публикациями и защищенными кандидатскими, докторскими диссертациями, многочисленными авторскими свидетельствами на изобретение.

Первое авторское свидетельство и последующие были получены с грифом «не публиковать в открытой печати», поэтому и а.с. и защищенные диссертации не были представлены широкой читательской аудитории и только за давностью лет можно о них писать открыто. Публиковались только измерения каких-то параметров [7,9] и тот час же эти работы вызывали отклик в научной общественности, на них ссылались, их включали в справочники [28-32]. Результаты этих исследований были доложены академиком Абдуллаевым Г.Б. на Заседании Президиума АН СССР в 1969 (Москва), на Выездной сессии отделения общей физики и астрономии АН СССР совместно с отделением ФМТН АН Азерб.ССР, Институтом Физики АН Азерб.ССР и Научным Советом по физике и химии полупроводников АН СССР (Баку, 1969).

Исследовались переключающие структуры на основе полупроводников $Cu_{2-x}S$, $Cu_{2-x}Se$ ($0 \leq x \leq 1$), CdS (p , n -типа) и механизмы токопрохождения в них.

Исследованием статических и динамических ВАХ диодных структур $Al-Al_2O_3-Cu_{2-x}S-Me$ (рис.4) и $Al-Al_2O_3-Cu_{2-x}Se-Me$ показано, что в прямом направлении структуры обладают гистерезисом, а в обратном N -образным ОС (Рис.4).

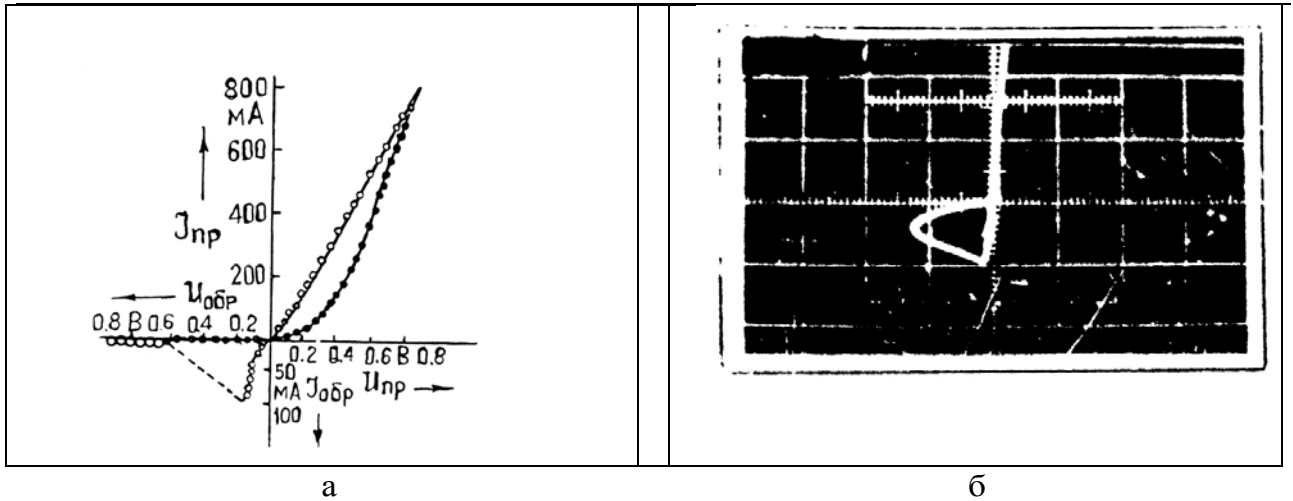
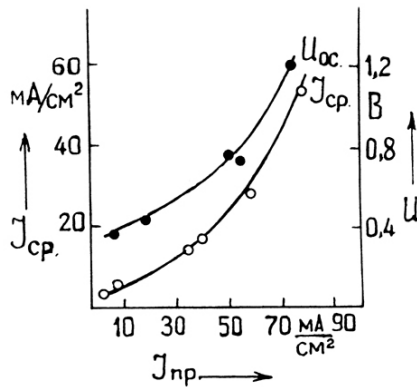


Рис.4.

Общий вид статической ВАХ (а) структуры $Al-CuS$ и динамической ВАХ (б) при комнатной температуре.

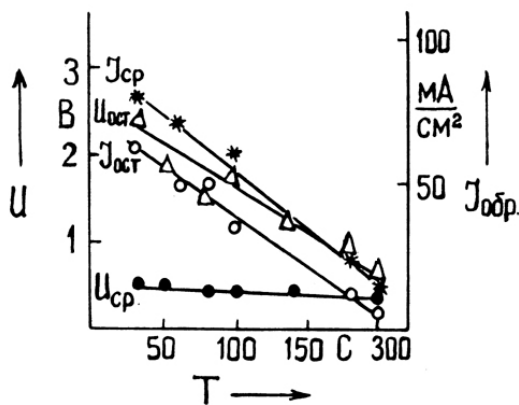


Параметры переключения диода, т.е. ток в точке срыва (I_{cp}) и остаточные значения после переключения ($I_{ост}, U_{ост}$) управляются величиной подаваемого прямого смещения и времени выдержки при этом смещении (Рис.5).

Рис.5

Зависимость тока в точке срыва и остаточного напряжения от величины прямого тока.

Напряжение в точке срыва (U_{cp}) почти не меняется в зависимости от прямого смещения и температуры и остается $\sim 0,4 \div 0,6V$ (Рис.6). Время, необходимое для возникновения скачка уменьшается с увеличением значения I_{np} и, начиная с $I_{np} \sim 150 MA/cm^2$ достаточно мгновенное



прохождение прямого тока, а при минимально необходимом для срыва при обратных смещениях прямом токе $I_{np} \sim 50 MA/cm^2$ необходимо пропускание его в течении времени $\tau \approx 2,5$ сек.

Рис.6.

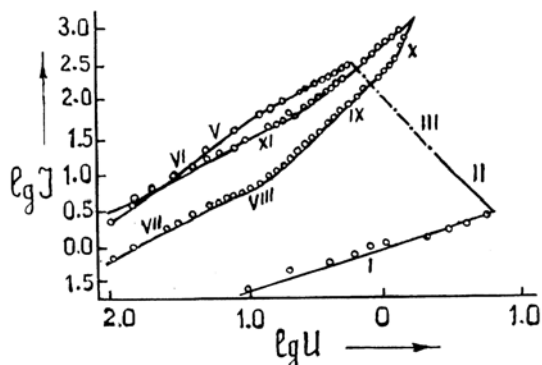
Зависимость I_{cp} , U_{cp} и $U_{ост}$ от температуры.

Если после подачи прямого тока и перехода в проводящее состояние отключить внешнее напряжение, затем вновь прикладывать к структуре прямое поле, можно убедиться, что структура сохранила проводящее состояние. То же самое и на обратной полярности после переключения в закрытое состояние, это состояние запоминается и без поля, т.е. данная структура обладает не только

управляемыми переключающими свойствами, но и памятью-свойством запоминать без поля одно из своих состояний: низкоомное или высокоомное.

Исследование переходных характеристик переключающих диодных структур показало, что переключение в данных структурах связано с накоплением и рассасыванием зарядов, создающих внутреннее ускоряющее поле в базе диода. Наличием этого поля объясняется память, существующая в этих структурах. Установлено, что с увеличением температуры и частоты исследуемых импульсов уменьшается площадь гистерезиса в прямом направлении и сужается область *N*-образного ОС в обратном направлении.

Слабая температурная зависимость прямого тока на экспоненциальном участке ($U \approx 0,06 \div 0,30V$), еще большее ослабление этой зависимости к концу экспоненциального участка, отрицательный температурный коэффициент напряжения, перемена знака полярности при малых смещениях подтверждают механизмы туннелирования с захватом на ловушки. Установлено, что после участка на прямой ветви ВАХ, связанного с туннелированием, наступает область предельного заполнения (ПЗЛ), вычислена концентрация ловушек в *CuS* $N_t = 0,17 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и в *CuSe* $N_t = 0,23 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Показано, что на обратной полярности ВАХ заряды, накопленные на ловушках, вследствие туннелирования при положительном смещении и создающие внутреннее ускоряющее поле, освобождаются ударной ионизацией и в результате рекомбинации носителей приводят к ОС *N*-типа (Рис.7).



положительном смещении и создающие внутреннее ускоряющее поле, освобождаются ударной ионизацией и в результате рекомбинации носителей приводят к ОС *N*-типа (Рис.7).

Рис.7.

ВАХ структуры *Al-Al₂O₃-CuS-Me* в двойном логарифмическом масштабе.

Впервые обнаружено *S*-образное симметричное переключение в гетероструктуре *Cu_{2-x}S-CdS* и пленочной структуре *Al-GeO-Cu₂S-Al*, разработана переключающая структура *Al-Al₂O₃-Cu_{1,8}S-Me* с *N*-образным переключением на одной полярности и без гистерезиса на другой (Рис.8), на образцах *CuS*, выдержанных на воздухе от одного до двух лет ВАХ получается симметричной с *N*-образным ОС.

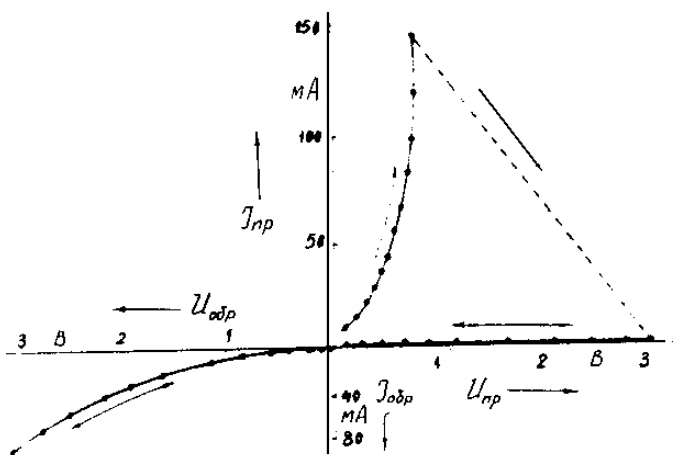


Рис.8.

ВАХ диодной структуры на основе *Cu_{1,8}S*.

Впервые вычислен ряд физических параметров: коэффициент диффузии *D*, длина свободного пробега *l*, дебаевская длина экранирования *LD*, толщина слоя объемного заряда *L'D* в *Cu_{2-x}S* и *Cu_{2-x}Se* ($0 \leq X \leq 1$), *CdS* (*p*, *n*).

Исследования эффектов переключения и памяти в халькогенидных полупроводниках продолжают /34÷38/.

Обнаружен эффект переключения и памяти в пленочных МДП структурах $Al-Al_2O_3-pCdS$ в виде трех устойчивых состояний. Изучен механизм проводимости на разных стадиях переключения и выяснена физическая природа наблюдаемого эффекта. Установлено, что доминирующим механизмом является инжекция носителей тока с последующим захватом ловушками с глубиной залегания 0,4 эВ.

В гетеропереходах Cu_2S-CdS , полученных химическим способом в темноте и на свету, N -образность ВАХ наблюдается при всех измерениях, даже после ТО, а при измерениях в темноте N -образное ОС возникает только при условии предварительного освещения, т.е. уровни прилипания, ответственные за захват и накопление заряда, позникают в результате фотостимулированных процессов.

Разработана технология изготовления тонкопленочного полевого транзистора (ТПТ) и тонкопленочного переключающего диода (ТПД) методом вакуумного напыления в едином технологическом цикле.

Вольтамперные характеристики полученных транзисторов с крутизной управления $-1 \div 3 \text{ мА/В}$, не имеют участок насыщения, что соответствует приборам с высокоомным каналом и подчиняется теории Боркмана-Ваймера.

Итак, варьируя свойства материалов ключевой (переключающей) системы $Al-Al_2O_3-A_{2-x}^{I-II}B^{VI}$ ($0 \leq X \leq 1$), где $A-Cu, Cd$; $B-S, Se, Te$ можно получить переключатели N и S -типа, симметричные и асимметричные, с памятью, без памяти, с гистерезисом и без гистерезиса. Установлено, что переключение и память связаны с туннелированием зарядов, их накоплением, ударной ионизацией центров и рекомбинацией на примесных уровнях.

1. Ф.Д.Касимов, *Труды четвертой международной научно-практической конференции (НПК) «Современные информационные и электронные технологии»*. – Одесса, Украина, 19-23 мая, (2003) 311.
2. S.R.Ovshinsky, *Symmetrical Current Controlling Devicc. US. Patent*, (1966) sept., 6.3.271.591.
3. S.R.Ovshinsky, *Phys.Rev.Lett.*, **21** (1968) 1450.
4. Г.А.Филаретов, В.И.Стафеев, *ФТП*, № 9 (1967) 1481.
5. Б.Т.Коломиец, Э.А.Лебедев, *Радиотехника и электроника*, (1983) в.12.
6. Г.Б.Абдуллаев, З.А.Алиярова, Д.Г.Гусейнов, *Изв.АН Азерб.ССР, сер. ФТМН*, № 6 (1964) 47.
7. З.А.Алиярова, Э.Н.Заманова, *В кн.: Сложные полупроводники*, Баку, Элм, (1966) 19.
8. Г.Б.Абдуллаев, Э.Н.Заманова, З.А.Алиярова, *Тезисы докладов III Всесоюзного совещания по физическим явлениям в p-n-переходах в полупроводниках*, Тбилиси, (1966) 125.
9. G.V.Abdullaev, Z.A.Aliarova, E.N.Zamanova, G.A.Asadov, *Phys. Stat. Sol.*, **26** (1968) 65.
10. Н.А.Гасанова, *Изв. АН Азерб.ССР, сер.ФТМН*, № 3 (1963) 91.
11. М.И. Алиев, *Теплопроводность полупроводников*, Баку, Элм, (1963) 147.
12. Г.Б.Абдуллаев, З.А.Алиярова, Э.Н.Заманова и др., *УФН*, **99** (1969) 505.
13. Э.Н.Заманова и др., А.С. *Полупроводниковый переключающий диод*, №244509 (СССР)
14. Г.Б.Абдуллаев, З.А.Алиярова, Э.Н.Заманова, *Материалы науч. теоретичес. конференции молодых ученых*, Баку, (1969) 6.
15. А.Л.Шабалов, М.М.Казинец, З.А.Алиярова, Э.Н.Заманова, *ДАН Азерб.ССР*, № 1 (1972) 28.

16. Г.Б.Абдуллаев, Э.Н.Заманова, Г.Г.Кадымов, Г.И.Аббасова, *О роли окисной прослойки в пленочных переключателях на основе Cu_2S* , Препринт № 13 ИФАН Азерб.ССР, 1972.
17. Э.Н.Заманова и др., *Полупроводниковый переключатель*, А.С. №599672 (СССР).
18. Э.Н.Заманова и др., *Полупроводниковый переключающий диод*, А.С. №664419 (СССР).
19. Э.Н.Заманова и др., *Электролит для осаждения сплавов меди с серой*, А.С. №850752 (СССР).
20. Э.Н.Заманова и др., *Электролит для осаждения покрытий из полупроводниковых серусодержащих сплавов*, А.С. №915495 (СССР).
21. Э.Н.Заманова, А.А.Мирзоева, З.А.Алиярова, А.И.Алекперов, *Тезисы докладов XII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, Баку, III (1981)300.*
22. А.Г.Абдуллаев, Э.Н.Заманова, С.М.Багирова, *Тезисы докладов VIII совещания по физике поверхностных явлений в полупроводниках. Киев, часть I (1984) 3.*
23. А.Г.Абдуллаев, Э.Н.Заманова, С.О.Искендеров, З.М.Абдуллаев, С.М.Багирова, *Изв. АН Азерб.ССР сер.физ.техн.и мат.наук*, № 3 (1984) **30**.
24. Э.Н.Заманова, А.Г.Абдуллаев, С.О.Искендеров, С.М.Багирова, *Тезисы докладов на VI Всесоюзной конференции по химии, физике и техническому применению халькогенидов, Тбилиси, (1983) 28.*
25. Э.Н.Заманова и др., *Электролит для нанесения высокоомных покрытий $CuSmS_2$* . А.С. № 1248326 (СССР).
26. Э.Н.Заманова, А.Г.Абдуллаев, С.О.Искендеров, З.М.Абдуллаев *Всесоюзный семинар «Приборы с отрицательным сопротивлением», ЦП НТО радио-техники, электроники и связи им.А.С.Попова. Павильон «Физика» АН СССР на ВДНХ, Москва, февраль, (1985) 12.*
27. Э.Н.Заманова, С.М.Багирова, *Всесоюзная научно-техническая конференция «Приборы с отрицательным сопротивлением и интегральные преобразователи на их основе», Баку, октябрь, (1991) 13.*
28. W.D.Gill and R.H.Bube, *J.Appl. Phys.*, **41** (1970) 3736.
29. V.J.Mulder, *Phys. Stat.Sol. (a)*, **18** (1973) 633.
30. О.П.Астахов, *Изв. АН СССР «Неорганические материалы», II (1975) 1506.*
31. Физико-химические свойства полупроводниковых веществ. Справочник. Коллектив авторов. /Редколлегия: академик А.В.Новоселова и др, М., «Наука», (1978) 32.
32. *Преобразование солнечной энергии. Вопросы физики твердого тела. Под ред. Б.Серафина. Перевод с английского под редакцией д-ра техн. наук М.М.Колтуна и канд.физ.-мат.наук В.М.Евдокимова. Москва «Энергоиздат», (1982) 209.*
33. Э.Н.Заманова и др., *Проблемы Энергетики, Баку, № 3 (2001) 106.*
34. Эльмира Заманова, *Сверхпроводники (Ifratкечирижиляр), Учебное пособие для ВУЗов, «Элм», Баку, (2000).*
35. E.N.Zamanova, M.A.Jafarov, H.M.Mamedov, *Effect of Heattreatment on Electrophysical and Photoelectrical properties of p-type CdS Polycrystals, Semiconductor Science and Technology, Jns. of Phys. Publ. Bristol, London, St.Peter, 12 SST/ABC, (1999) 1234.*
36. Э.Н. Заманова, Л.А.Алиева, *Физика, ИФАН Азерб.*, **V** № 1 (1999) **25**
37. Э.Н.Заманова, Л.А.Алиева, *Физика, ИФАН Азерб.*, **VII** № 3 (2000) 52.

38. Эльмира Заманова, *Технология получения и электрофизические свойства материалов типа $A^I B^{VI}$* , Баку, «Элм», (2002).

INITIATING WORKS OF SOLID-STATE NEGATRONICS IN AZERBAIJAN

E.N.ZAMANOVA

This paper deals with survey of works initiating negatronics in Azerbaijan. This is just small part of works carried out under the leadership and on initiative of Academician G.B.Abdullaev.

Investigation of different physical effects in semiconductive structures for production of negatrons elements with negative resistance provides direct transformation of different kinds of energy within the crystal and determination of supersensitivity regimes to various energy effects making negatrons to be perspective elements of original detectors.

AZERBAJCANDA BƏRKİSİMLƏR NEGATRONİKASININ İNKİŞAFININ ƏSASLARI

Ə.N.ZAMANOVA

Bu məqalədə Azərbaycanada neqatronikanın əsası olan elmi işlərin icmalı verilmişdir. Lakin əhatə olunan işlər akademik H.B.Abdullayevin bilavasitə təşəbbüsü və rəhbərliyi altında bu sahədəki tədqiqatların kiçik bir hissəsidir.

Mənfi müqavimətli elementlərin-neqatronların alınması üçün yarımkeçiricilərdə müxtəlif fiziki effektlərin öyrənilməsi kristal daxilində müxtəlif növ enerjilərin çevirmələrini, ifratəssas rejimlərin seçilməsini təmin edir, bu işə onların ilkin çevirici elementlər kimi olduqca perspektivliyinin göstərir.

Редактор: А.Халилова